Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР

DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-27-35

УДК 633.15

Поступление/Received: 12.09.2020 Принято/Accepted: 22.03.2021



Source material from the VIR collection for hybrid breeding of multiple-ear maize

В. Н. БОЙКО¹, Э. Б. ХАТЕФОВ^{2*}

¹ Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова, Кубанская опытная станция − филиал ВИР, 352183 Россия, Краснодарский край, Гулькевичский район, п. Ботаника, ул. Центральная, 2 ы boyko_vlad@mail.ru

² Федеральный исследовательский центр Всероссийский институт генетических ресурсов растений имени Н.И. Вавилова 190000 Россия, г. Санкт-Петербург, ул. Б. Морская, 42, 44. *

★ haed1967@rambler.ru V. N. BOYKO¹, E. B. KHATEFOV²*

St Petersburg 190000, Russia

* Maed1967@rambler.ru

Актуальность. Расширение генетического полиморфизма кукурузы с целью повышения ее продуктивности путем вовлечения в селекцию многопочатковых генотипов является актуальной задачей.

Материалы и методы. На Кубанской опытной станции ВИР в 2017 г. изучено 596 образцов коллекции кукурузы ВИР. В степной зоне Кабардино-Балкарии, на территории ИПА ОТБОР, в 2020 г. испытаны 52 гибрида между многопочатковыми и однопочатковыми линиями кукурузы. Проведен учет селекционно ценных признаков, вычислен коэффициент многопочатковости ($k_{\rm MM}$) у исходных линий и их гибридного потомства с однопочатковым тестером с ранжированием типа наследования признака многопочатковости у 52 родительских линий.

Результаты. Выделены образцы, характеризующиеся сочетанием многопочатковости с рядом хозяйственно ценных признаков: по высоте растений (балл 5, 126-175 см) – κ -8819, κ -9054, κ -15269, κ -15355, κ -15360, к-15331, к-15877, к-15442, к-15443, к-15445, к-8009, к-14344, к-15195, к-15226, к-17385; по высоте прикрепления початка для механизированной уборки (балл 5, 50-70 см) - к-8819, к-15269, к-15355, к-15360, к-14394, к-14904, к-14979, к-14968, к-15292, к-15391, к-9289, к-15322, к-15439, к-15442, к-15443, к-14344. Выделены источники: увеличения длины початка (балл 9, > 20 см) к-9054, к-4535, к-13730, к-14817, к-14996; увеличения числа рядов на початке (балл 5-9, > 16 рядов зерен) к-14904, к-14979, к-14968, к-15442, к-15330, к-15322, к-9257; повышения числа зерен в ряду початка (балл 5-9, > 31 зерна в ряду) - к-14904, к-14996, к-15639, к-15353, к-15330, к-15322, к-15344, к-15281, к-15439, к-9357, к-15237. Ранжирование 52 образцов по результатам тест-кросса показало, что девять образцов давали потомство материнского типа (не более одного початка), 26 образцов – промежуточного типа (от 1,1 до 1,5 початков на растении), 11 - отцовского типа (от 1,6 до 2,0 початков на растении) и шесть - гетерозисного типа (более двух початков на растении).

Ключевые слова: Zea mays L., двухпочатковость, трехпочатковость, четырехпочатковость, урожай зерна, хозяйственно ценные признаки, гибрид, тест-кросс.

Background. Expanding the genetic polymorphism of maize is an effective way to increase its productivity by involving multiple-ear genotypes in breeding.

Materials and methods. In 2007, 596 maize accessions from VIR were assessed at the Kuban Experiment Station of VIR. In 2020, 52 hybrids between multiple-ear and single-ear maize lines were tested in the steppe zone of Kabardino-Balkaria at the site of the *OTBOR* Agrifirm. Useful agronomic traits were recorded, the coefficient of prolificacy ($k_{\rm mc}$) was calculated for the source lines and their hybrid progeny from crosses with a single-ear tester, and 52 parent lines were ranked according to the type of inheritance of the prolificacy feature.

Results. Accessions that combined prolificacy with other useful agronomic traits were identified. The following accessions were selected for their plant height (score 5, 126-175 cm): k-8819, k-9054, k-15269, k-15355, k-15360, k-15331, k-15877, k-15442, k-15443, k-15445, k-8009, k-14344, k-15195, k-15226 and k-17385. Accessions that excelled in the height of the ear attachment for mechanized harvesting (score 5, 50-70 cm) were as follows: k-8819, k-15269, k-15355, k-15360, k-14394, k-14904, k-14979, k-14968, k-15292, k-15391, k-9289, k-15322, k-15439, k-15442, k-15443 and k-14344. Sources of the following traits were identified: long cob (score 9, > 20 cm): k-9054, k-4535, k-13730, k-14817 and k-14996; higher number of rows per ear (score 5-9, > 16 grain rows): k-14904, k-14979, k-14968, k-15442, k-15330, k-15322 and k-9257; and higher number of grains in a row (score 5-9, > 31 grains per row): k-14904, k-14996, k-15639, k-15353, k-15330, k-15322, k-15344, k-15281, k-15439, k-9357 and k-15237. Ranking 52 accessions according to the test cross results showed that 9 of them produced progeny of the maternal type (no more than one ear), 26 of the intermediate type (1.1–1.5 ears per plant), 11 of the paternal type (1.6-2,0 ears) and 6 of heterotic type (more than 2 ears).

Key words: *Zea mays* L., two-three- and four-ear maize, grain yield, useful agronomic traits, hybrid, test cross.

• 182 (4), 2021 • В. Н. БОЙКО • Э. Б. ХАТЕФОВ

Введение

С тех пор как в 1930-х гг. первые коммерческие гибриды были внедрены в производство, начался рост урожайности кукурузы (Fasoula, 2005). Однако к концу XX века возникла реальная угроза генетической эрозии из-за сужения генетического разнообразия исходных линий, используемых в гибридной селекции. Одной из актуальных проблем современной гетерозисной селекции высокоурожайных гибридов кукурузы является создание исходного материала, отличающегося наличием двух и более початков на растении (многопочатковостью). Выделение генотипов кукурузы, закладывающих несколько зачаточных початков на стебле, важно для повышения урожайности зерна за счет внедрения в производство многопочатковых гибридов кукурузы.

Наличие форм кукурузы с большим числом початков обусловлено ее генетическим и эволюционным происхождением от дикого сородича – теосинте. Растения предковой кукурузы отличались многостебельностью и многопочатковостью, как и ее дикие сородичи: теосинте и трипсакум. Впоследствии, в результате эволюции и длительных отборов, признак многопочатковости у кукурузы был подавлен, и современные сорта и гибриды имеют на растении по одному початку (Shmaraev, 1975; Yang et al., 2019; Liu et al., 2020).

Степень проявления двухпочатковости у кукурузы определяется генотипом и средой. Потенциальная способность формировать два и более початка является биологической особенностью образца (сорта, линии или популяции), но находится в тесной связи с погодными условиями и агрофоном (Akhvlediani, 1984; Khatefov et al., 2020). Было установлено, что у растений, склонных к развитию многопочатковости, верхние зачаточные початки уже на ранних этапах органогенеза развиваются синхронно и завершают онтогенетический цикл одновременно. По морфофизиологическим данным можно прогнозировать уровень развития многопочатковости у исходного материала уже на ранних этапах органогенеза и устанавливать потенциал продуктивности двухпочатковых генотипов кукурузы (Paritov, 2010).

Растения многопочатковых образцов быстро растут в течение всего репродуктивного периода. Главное их преимущество выражается в способности формировать более высокий урожай зерна двумя путями: сокращением бесплодия растений при загущении и компенсацией снижения густоты посева увеличением числа початков на растении (Basavanneppa, Kuchanur, 2020; Sangoi, 2001). Благодаря этому двухпочатковые гибриды обеспечивают более стабильные урожаи зерна в различных условиях выращивания (Panfilova, 2020).

Результаты изучения урожайности многопочатковых линий и их тест-кроссов показывают, что двухпочатковые формы не только не уступают, но и довольно значительно превосходят по урожайности зерна и числу початков формы, полученные от однопочатковых растений (Jampatong et al., 2000). По своей структуре первые початки многопочатковых растений бывают достаточно крупными и в целом не уступают початкам, полученным с однопочатковых растений, но в случае синхронного цветения всех початков, между ними нет существенных различий (Khatefov et al., 2017). В исследованиях, проводившихся на различных агрофонах, гибриды кукурузы формировали максимальный урожай при высоком агрофоне и образовании двух початков, чем по отдельности каждый початок. Исследования показали, что как первые,

так и вторые початки в совокупности влияют на формирование большего урожая, чем каждый початок способен дать в отдельности (при удалении второго) (Silva et al., 2006; Durieux et al., 1993). Поэтому селекционные исследования направлены на создание гибридов, склонных к двухпочатковости, которые могут в неблагоприятных условиях (сильная засуха) компенсировать неполное развитие верхнего початка формированием нижнего (Kazankov, Ponomarenko, 1979). Двухпочатковые гибриды могут повышать урожай зерна сединицы площади до 40-80% и отличаются повышенной засухоустойчивостью. Они, как правило, высокорослые, имеют прочный стебель, лучшую облиственность и более развитые мужские соцветия, чем однопочатковые формы. В благоприятные годы такие генотипы могут закладывать по 2-3 початка, а в неблагоприятные дают значительно меньше бесплодных растений (Fesenko, 1984).

Выращиваемые на территории Российской Федерации в значительном количестве гибриды кукурузы селекции иностранных компаний, как правило, превосходят отечественные по наиболее важным селекционным показателям, таким как высокая скорость влагоотдачи и повышенное число початков на растении.

Селекция двухпочатковых гибридов кукурузы, ввиду ограниченности ассортимента отечественных родительских форм, сопряжена с определенными трудностями, связанными с пенетрантностью и экспрессивностью признака на различных агрофонах (Khatefov, Matveeva, 2018). Поэтому возрастает значение исследовательских работ по расширению генофонда исходного материала, способствующего фенотипическому проявлению признака увеличенного числа початков на стебле для гибридной селекции. В условиях востребованности высоких урожаев зерна кукурузы многопочатковые гибриды являются одним из резервов устойчивого повышения производства фуражного зерна. Поэтому остается актуальной проблема обеспечения роста урожайности кукурузы за счет введения в селекционные программы новых источников многопочатковости либо перевода существующих однопочатковых инбредных линий в их многопочатковые аналоги.

Цель наших исследований – поиск, выделение и изучение генетических источников признака «многопочатковость» с оптимальным сочетанием селекционно ценных признаков в коллекции кукурузы ВИР.

Материал и методика

Основным источником для получения новых исходных форм с требуемыми для селекции на двухпочатковость признаками послужила мировая коллекция кукурузы Всероссийского института генетических ресурсов растений им. Н.И. Вавилова (ВИР). Научные исследования выполнены в 2017 г. в агроклиматических условиях Кубанской опытной станции – филиала ВИР в соответствии с «Методическими указаниями ВИР по изучению и поддержанию образцов коллекции кукурузы» (Shmaraev, Matveeva, 1977) и «Международным классификатором СЭВ вида Zea mays L.» (Kukekov, 1977).

Для получения нового исходного материала при плановом ежегодном размножении коллекции кукурузы ВИР проведено изучение 596 образцов по 12 основным, наиболее ценным морфологическим признакам и биологическим свойствам растений. В тест-кроссах было задействовано 52 линии многопочатковой кукурузы селекции ВИР, в качестве стерильной материнской формы

v. n. boyko • e. b. khatefov • 182 (4), 2021 •

была использована однопочатковая линия ГК26М. Испытание гибридного потомства проводили в степной зоне Кабардино-Балкарии на территории Инновационнопроизводственной агрофирмы «ОТБОР» (ИПА ОТБОР) в 2020 г.

Коэффициент многопочатковости $k_{\rm мп}$ определяли подсчетом числа початков, собранных с делянки и разделенных на число растений на делянке. Ранжирование линий по типу передачи потомству признака многопочатковости проводили по схеме, предложенной Э. Б. Хатефовым (Khatefov et al., 2020).

1-я группа – $\mathbf{F_1}$ -гибриды с $k_{_{\mathrm{MI}}}$ = материнского типа (не более 1,0 початка);

2-я группа – F_1 -гибриды с $k_{\text{мп}}$ = промежуточного типа (от 1,1 до 1,5 початков);

3-я группа – $\mathbf{F_1}$ -гибриды с $k_{_{\mathrm{MI}}}$ = отцовского типа (от 1,6 до 2,0 початков);

4-я группа – F_1 -гибриды с $k_{_{\rm MII}}$ = гетерозисного типа (более 2,0 початков).

Почва опытного поля – чернозем типичный, мощный, малогумусный, сформированный на карбонатном суглинке с содержанием гумуса в поверхностном горизонте 4,7–5,3%, реакция почв слабощелочная, рН вытяжки – 6,0–6,1, содержание карбонатов в пахотном слое – 7,1%, глубже более высокое – 13,6–14,9%.

Климат региона проведения исследований умеренно континентальный, отличается неустойчивостью всех климатических элементов. Среднегодовая температура воздуха составляет 10,6°С, годовая сумма осадков – 546 мм. Сумма годовых активных температур равняется 3200–3400°С, продолжительность безморозного периода – 185–190 дней.

Предпосевная подготовка почвы включала следующие агроприемы: осенью, после предшественника (озимая пшеница), проводили обработку дисковым мульчировщиком БДТ-3 и вспашку на глубину 22-25 см плугом ПЛН5-3,5. Весной, при достижении физической спелости почвы, провели сплошную культивацию КПС-4,2 со средними боронами в два следа для выравнивания почвы участка и закрытия влаги. Предпосевную культивацию проводили на глубину 6-8 см, с заделкой почвенного гербицида «Стомп Проф», норма внесения - 3,5 л/га. Посев коллекционных образцов проводили в оптимальные сроки, вручную, в третьей декаде апреля. Глубина посева – 5–6 см, площадь учетной делянки – 4,9 м². Густоту стояния растений, согласно схеме опыта (50-55 тыс. раст./га), устанавливали при ручной прорывке в фазе 4-5 листьев.

Результаты исследований

По результатам изучения выделены 43 образца коллекции кукурузы, характеризующиеся высокими показателями изучаемого признака «число початков на растении», различающихся как по эколого-географическому происхождению, так и по консистенции и окраске зерна.

Определение показателей данного признака проводили по результатам подсчета числа початков на 10 растениях каждого опытного образца коллекции. Затем изученные образцы распределяли по группам согласно полученным данным. Для дальнейшего исследования отбирали лучшие образцы, соответствующие группам с большим (2,2–2,9 поч./раст., балл 7) и очень большим (> 3,0 поч./раст., балл 9) числом початков на растении. Проведенные исследования показали, что доля образцов кукурузы с высокими показателями признака «число по-

чатков» составила 27,8% от общего числа изученных образцов.

Изученные коллекционные образцы представляли 12 стран из основных мировых регионов возделывания культуры. Тем не менее основная часть многопочатковых форм была из России – 9, Бельгии – 9, США – 7, Китая – 5, Украины – 4, а также по несколько образцов (от 1 до 2) из Азербайджана, Аргентины, Германии, Казахстана, Канады, Таджикистана и Туркмении.

Эффективность современной гетерозисной селекции определяется широтой генетического полиморфизма исходного материала, отвечающего комплексным требованиям к характеристикам селекционно ценных признаков и свойств кукурузы (раннеспелость, элементы продуктивности, высота прикрепления початка, устойчивость к полеганию, болезням и вредителям и др.).

Продолжительность вегетационного периода растений – главный биологический и селекционный признак, обусловливающий уровень продуктивности, адаптивность и ареал возделывания сорта или гибрида, который определяет дальнейшее использование образца в селекционной практике (Vavilov, 1966). В Российской Федерации кукуруза может возделываться от 41 до 50 градусов северной широты, при этом группы спелости по ФАО варьируют в пределах 100–600 единиц.

В наших исследованиях проведено распределение многопочатковых образцов по группам спелости ФАО. По длине вегетационного периода изучаемые образцы коллекции разделились на шесть групп (табл. 1).

Основная часть изучаемых образцов кукурузы (18) относилась к среднеранней группе спелости (ФАО-200); к среднеспелой (ФАО-300) отнесено 10 образцов, к раннеспелой (ФАО-100) – два образца.

Среднепоздняя группа (ФАО-400) включала девять образцов, к позднеспелой (ФАО-500) и очень позднеспелой (ФАО-600) группам спелости отнесено по четыре изученных образца коллекции кукурузы.

Следует отметить, что многопочатковые образцы встречаются в каждой группе спелости, что делает возможным привлечение данных образцов в селекционные программы по улучшению урожайности гибридов разных групп спелости. Особый интерес вызывают образцы из раннеспелых групп (ФАО 100-200) в связи высокой потребностью раннеспелых форм в селекционных программах на скороспелость.

Как показывают наблюдения, размах варьирования значений таких морфологических признаков, как «высота растения» и «высота прикрепления початка» многопочатковых форм, достаточно широкий и возрастает в зависимости от увеличения сроков созревания.

Размах варьирования высоты растений находится в пределах от 98 см в группе спелости ФАО-100 до 275 см в группе спелости ФАО-500. Выделены образцы с оптимальной высотой растений, относящихся к среднерослой группе (балл 5, 126–175 см): к-8819, к-9054, к-15269, к-15355, к-15360 (Россия), к-15331, к-15877 (США), к-15442, к-15443, к-15445 (Украина), к-8009 (Казахстан), к-14344 (Канада), к-15195 (Азербайджан), к-15226 (Китай), к-17385 (Аргентина) для использования в селекции зернового направления.

Варьирование признака высоты прикрепления початка у многопочатковых генотипов составила в среднем от 21 см в группе ФАО-100 до 143 см в группе ФАО-400. По результатам изучения выделены образцы с оптимальной для механизированной уборки высотой прикрепления початка (балл 5, 50–70 см): к-8819, к-15269,

• 182 (4), 2021 • В. Н. БОЙКО • Э. Б. ХАТЕФО

Таблица 1. Размах изменчивости основных селекционно ценных признаков многопочатковых образцов кукурузы коллекции ВИР (Кубанская опытная станция ВИР, 2017 г.)

Table 1. The range of variability in main characters useful for breeding among the multiple-ear maize accessions from the VIR collection (Kuban Experiment Station of VIR, 2017)

ФАО / FAO	Число образцов / Number of accessions	Высота растений, см / Plant height, сm	Высота початка, см / Ear height, сm	Длина початка, см / Ear length, сm	Масса початка, г / Ear weight, g.	Число рядов зерен, шт. / Number of grain rows	Число зерен в ряду, шт. / Number of grains per row	Число початков, шт./раст. / Number of ears per plant
100	2	96-158	21–52	9,4-16,3	28-49	8–14	12-28	2,5-3,0
200	18	112-230	24-110	11,3-22,1	61-161	12-20	13-34	2,5-3,6
300	10	150-260	63-106	9,2-18,4	23-174	10-15	10-34	2,6-3,6
400	9	172-236	68-143	12,3-20,0	44-145	11-16	24-38	2,5-4,0
500	2	142-275	56-135	10,6-20,3	45-146	12-14	18-29	2,5-2,8
600	2	158-210	95-106	12,0-21,5	25-138	13-16	25-30	2,5-4,0

к-15355, к-15360 (Россия), к-14394, к-14904, к-14979, к-14968 (Бельгия), к-15292, к-15391, к-9289, к-15322 (США), к-15439, к-15442, к-15443 (Украина), к-14344 (Канада).

Для селекции на гетерозис большое значение имеют такие составные элементы структуры продуктивности, как длина и масса початка, число рядов зерен и число зерен в ряду початка. Продуктивность растения является количественным признаком, имеющим сложную структуру и функциональную организацию. Формирование элементов структуры продуктивности в значительной мере зависит от генотипа образца и экологических условий (Kozubenko, Gurieva, 2000). Включенные в исследования многопочатковые образцы кукурузы существенно различались по признаку «длина початка». Варьирование значений данного признака составило от 9,2 см в группе ФАО-200 до 22,1 см в группе ФАО-300. Отмечено пять генетических источников с высокими показателями (балл 9, > 20 см) длины початка: к-9054 (Россия), к-4535 (США), к-13730 (Китай), к-14817, к-14996 (Бельгия).

По признаку «масса початка» размах значений составил от 23 г (ФАО-300) до 174 г (ФАО-300). Для селекции на продуктивность представляют интерес многопочатковые образцы коллекции, обладающие высокими показателями массы початка (балл 7–9, > 130 г): к-15353 (Россия), к-14902, к-14904, к-14929 (Бельгия), к-15330, к-15332 (США), к-15281 (Канада), к-9257 (Таджикистан).

Признак «число рядов зерен на початке» является одним из важнейших структурных элементов урожая зерна кукурузы. В отличие от других количественных признаков, он отличается довольно высокой стабильностью (Kraychenko, 1981).

Варьирование значений признака «число рядов зерен» многопочатковых образцов коллекции составило от 8 (ФАО-100) до 20 рядов на початке (ФАО-200). Выделены генетические источники с высокими показателями признака (балл 5–9, > 16 рядов зерен): к-14904, к-14979,

к-14968 (Бельгия), к-15442, (Украина), к-15330, к-15322 (США), к-9257 (Таджикистан).

Признак «число зерен в ряду початка» – основной компонент урожайности, так как в значительной мере определяет уровень урожая зерна с растения и урожая зерна с единицы площади (Paritov, 2010).

Варьирование признака «число зерен в ряду початка» у многопочатковых образцов составило от 10 зерен в ряду (ФАО-300) до 38 зерен (ФАО-400). Отмечены генетические источники признака «число зерен в ряду початка», превышающие стандарт (балл 5–9, > 31 зерна в ряду): к-14904, к-14996 (Бельгия), к-15639, к-15353 (Россия), к-15330, к-15322 (США), к-15344, к-15281 (Канада), к-15439 (Украина), к-9357 (Таджикистан), к-15237 (Туркмения).

Изучение признака «число початков на растении» позволило установить, что наиболее высокими показателями признака обладали образцы группы ФАО 400-500 ($k_{\mbox{\tiny MIR}}=4,0$) и ФАО 200-300 ($k_{\mbox{\tiny MIR}}=3,6$). Выделены генетические источники многопочатковости, отличающихся максимальными показателями признака «число початков на растении»: к-15443, к-15445 (Украина), к-15347 (Китай), к-15487 (Россия), к-15877 (США).

Наличие образцов с большим числом початков на растении отмечено практически у всех подвидов кукурузы коллекции ВИР (табл. 2).

Наибольшее количество многопочатковых образцов отмечено в подвиде с зубовидным типом зерна (subsp. indentata (Sturt.) Zhuk.) – 20 образцов и кремнистым (subsp. indurate (Sturt.) Zhuk.) – 16 образцов; в промежуточном, кремнисто-зубовидном (subsp. semindentata Kulesh.) типе зафиксировано пять образцов и по одному образцу обнаружено среди подвидов с лопающимся (subsp. everta (Sturt.) Zhuk.) и сахарным (subsp. saccharata (Körn.) Zhuk.) типом зерновки. Максимальные показатели числа початков на растении отмечены в подвидах с кремнистым типом, желтым цветом зерна и лопающимся типом, крас-

V. N. BOYKO • E. B. KHATEFOV • 182 (4), 2021

Таблица 2. Характеристика многопочатковых образцов подвидов кукурузы в коллекции ВИР (Кубанская опытная станция ВИР, 2017 г.)

Table 2. Description of multiple-ear maize subspecies accessions from the VIR collection (Kuban Experiment Station of VIR, 2017)

Подвид / Subspecies	Число образцов по подвидам / Number of accessions by subspecies	Цвет алейрона / Aleurone color	Число образцов по цвету алейрона / Number of accessions per aleurone color	$rac{k_{_{ m MI}}}{k_{_{ m mc}}}$
indurata (Sturt.) Zhuk.		белая	3	2,6-3,0
indurata (Sturt.) Zhuk.	16	желтая	11	2,5-4,0
indurata (Sturt.) Zhuk.		пестрая	2	2,6-3,0
indentata (Sturt.) Zhuk.		белая	3	3,0-3,4
indentata (Sturt.) Zhuk.	20	желтая	16	2,5-3,6
indentata (Sturt.) Zhuk.		пестрая	1	2,6
semindentata Kulesh.	F	желтая	4	2,6-3,6
semindentata Kulesh.	5	пестрая	1	3,0
everta (Sturt.) Zhuk.	1	красная	1	4,0
saccharata (Körn.) Zhuk.	1	желтая	1	2,8

ным цветом зерна с $k_{_{
m MI}}=4,0$, а также в подвиде с зубовидным типом, желтым цветом зерна и кремнисто-зубовидным типом, желтым цветом зерна с $k_{_{
m MI}}=3,6$.

Изучение первых экспериментальных гибридов между многопочатковыми и однопочатковыми линиями кукурузы показало, что признак многопочатковости передается потомству сложным комплексом генов преимущественно с промежуточным (неполным) типом доминирования. Гибриды от таких скрещиваний, в зависимости от генотипа родительских линий, могут формиро-

вать от 1,0 до 2-3 и более початков на гибридном растении (рис. 1, рис. 2). При этом размеры початков также превышают исходные родительские формы (рис. 3).

На основе данных расщепления признака «многопочатковость» в потомстве F_1 гибридов коллекционные образцы распределены на четыре группы (Khatefov et al., 2020) (табл. 3). Из 52 тест-кроссов удалось выделить как наиболее ценные для селекции шесть линий, характеризующихся гетерозисным типом наследования многопочатковости в гибридных комбинациях. Эти линии спо-



Рис. 1. Фаза цветения двухпочатковой (A), трехпочатковой (Б) и четырехпочатковой (В) кукурузы Fig. 1. The flowering phase in maize with two (A), three (Б) and four (В) ears per plant

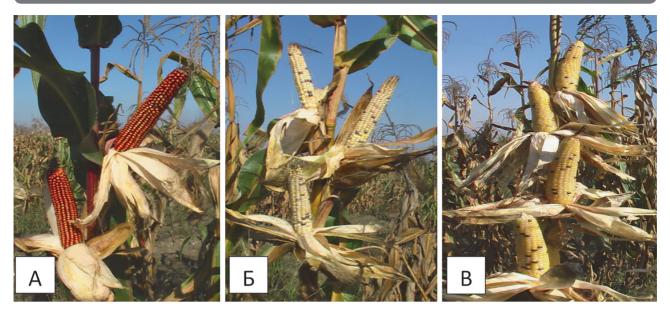


Рис. 2. Фаза полной спелости початка у двухпочатковой (A), трехпочатковой (Б) и четырехпочатковой (В) кукурузы

Fig. 2. The phase of full ear ripeness in maize with two (A), three (δ) and four (B) ears per plant



Гибрид F1

Рис. 3. Размеры початков родительских форм и гибридного двухпочаткового потомства при скрещивании между многопочатковой (♂) и однопочатковой (♀) линиями

Fig. 3. Ear sizes of the parental forms and their hybrid two-ear progeny from crosses between multiple-ear (3) and single-ear (2) lines

V. N. BOYKO • E. B. KHATEFOV • 182 (4), 2021

Таблица 3. Число линий кукурузы ранжированных по способности передавать признак многопочатковости гибридному потомству в тест-кроссах с однопочатковой линией

Table 3. The numbers of maize lines ranked according to their ability to transfer the trait of prolificacy to their hybrid progeny in test crosses with a single-ear line

I	Тип многопочатковости / Type of prolificacy						
$k_{_{ m mr}}$ отцовской линии/ $k_{_{ m mc}}$ of the ${ m m{\it d}}$ line	материнский/ maternal	промежуточный/ intermediate	отцовский/ paternal	гетерозисный/ heterotic			
2,0	2	5	2	1			
2,2	2	4	1	0			
2,5	4	6	1	2			
2,7	1	7	4	2			
3,0	0	4	3	1			
Bcero / Total	9	26	11	6			

собны формировать два и более початка на гибридном растении при скрещивании с однопочатковой материнской формой. Таким образом, можно предположить, что подбор обоих родителей с признаком «многопочатковости гетерозисного типа» и относящихся в паре к различным гетерозисным группам (Iowa Stiff Stalk Synthetic, Iodent, Lancaster, Reid Yellow Dent, Mindszenpuszta, Lacaune) позволит существенно повысить количество початков и урожай зерна на гибридном растении кукурузы.

Заключение

Изучение коллекции кукурузы в условиях степной зоны на Кубанской опытной станции - филиале ВИР (Краснодарский край) позволило выделить 43 генетических источника многопочатковости в различных группах спелости по ФАО, которые характеризуются высоким потенциалом повышения урожайности кукурузы. Из них: 14 источников характеризуются оптимальной высотой растения, 16 источников - оптимальной высотой прикрепления початка, 33 источника - с ценными элементами структуры урожайности (длины початка - 5, массы початка - 8, рядов зерен на початке - 9, зерен в ряду початка - 11). Изучение части набора (52 образца) в тесткроссах с однопочатковой линией показало, что образцы распределились по четырем возможным группам, из которых 9 образцов давали потомство материнского типа, формировавшее не более одного початка; потомки 26 образцов отнесены к промежуточному типу и формируют от 1,1 до 1,5 початков на растении; потомки 11 образцов отнесены к отцовскому типу и формируют от 1,6 до 2,0 початков на растении и 6 образцов было гетерозисного типа, характеризующегося более чем двумя початками на растении.

Проводимые исследования коллекции кукурузы ВИР свидетельствуют, что возможности использования имеющихся источников в гетерозисной селекции гибридов различных групп спелости далеко не исчерпаны и зависят от степени генетического разнообразия исходного материала.

Выделенные источники селекционно ценных признаков и свойств могут быть включены в селекционные программы гибридной кукурузы ЮФО и других регионов Российской Федерации.

Работа выполнена в рамках государственного задания согласно тематическому плану ВИР по проекту № 0662-2019-0006 «Поиск, поддержание жизнеспособности и раскрытие потенциала наследственной изменчивости мировой коллекции зерновых и крупяных культур ВИР для развития оптимизированного генбанка и рационального использования в селекции и растениеводстве».

The research was performed within the framework of the State Task according to the theme plan of VIR, Project No. 0662-2019-0006 "Search for and viability maintenance, and disclosing the potential of hereditary variation in the global collection of cereal and groat crops at VIR for the development of an optimized genebank and its sustainable utilization in plant breeding and crop production".

References / Литература

Akhvlediani O.A. Individual productivity of plants and yield structure components (Individualnaya produktivnost rasteniy i element struktury urozhaya). *Kukuruza = Maize*. 1984;5:26. [in Russian] (Ахледиани О.А. Индивидуальная продуктивность растений и элементы структуры урожая. *Кукуруза*. 1984;5:26).

Basavanneppa M.A., Kuchanur H.P. Productivity and profitability of maize as influenced by genotypes, spacing and nutrient levels under irrigated situation. *International Journal of Chemical Studies*. 2020;8(3):1626-1629. DOI: 10.22271/chemi.2020.v8.i3v.9428

Durieux R.P., Kamprath E.J., Moll R.H. Yield contribution of apical and subapical ears in prolific and nonprolific born. *Agronomy Journal*. 1993;85(3):606-610. DOI: 10.2134/agro nj1993.00021962008500030016x

Fasoula D.A., Fasoula V.A. Bridging the productivity gap between maize inbreds and hybrids by replacing gene and genome dichotomization with gene and genome. *Maydica*. 2005;50:49-61.

Fesenko I.V. Development and studying of source material for maize breeding for the two-ear trait in the environments of the south of the Ukrainian SSR (Sozdaniye i izucheniye iskhodnogo materiala dlya selektsii kukuruzy na dvukhpochatkovost v usloviyakh yuga USSR) [dissertation].

• 182 (4), 2021 • В. Н. БОЙКО • Э. Б. ХАТЕФОВ

Odessa; 1984. [in Russian] (Фесенко И.В. Создание и изучение исходного материала для селекции кукурузы на двухпочатковость в условиях юга УССР: дис. ... канд. с.-х. наук. Одесса; 1984). URL: https://www.dissercat.com/content/sozdanie-i-izuchenie-iskhodnogomateriala-dlya-selektsii-kukuruzy-na-dvukhpochatkovost-v-usl [дата обращения: 10.10.2018].

- Jampatong S., Darrah L.L., Krause G.F., Barry B.D. Effect of one- and two-eared selection on stalk strength and other characters in maize. *Crop Science*. 2000;40(3):605-611. DOI: 10.2135/cropsci2000.403605x
- Kazankov A.F. Ponomarenko L.A. Development of two-ear maize lines and assessment of their combining ability (Sozdaniye dvukhpochatkovykh liniy kukuruzy i otsenka ikh kombinatsionnoy sposobnosti). In: Collection of papers for the 80th birthday of M.I. Khadzhinov, Academician of VASKhNIL (Sbornik k 80-letiyu akademika VASKhNIL M.I Khadzhinov). Krasnodar; 1979. p.70-80. [in Russian] (Казанков А.Ф. Пономаренко Л.А. Создание двухпочатковых линий кукурузы и оценка их комбинационной способности. Сборник к 80-летию академика ВАСХНИЛ М.И. Хаджинова. Краснодар; 1979. C.70-80).
- Khatefov E.B., Kanukova Zh.O., Valyannikova T.I., Golovina M.A. Breeding new lines of maize based on the donor's multiple-ear trait from the collection of corn, VIR. *International Scientific Researches*. 2017;2(31):115-119. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Канукова Ж.О., Вальянникова Т.И., Головина М.А. Селекция новых линий кукурузы на основе доноров многопочатковости из коллекции кукурузы ВИР. *Международные научные исследования*. 2017;2(31):115-119).
- Khatefov E.B., Matveeva G.V. Creating and study of multicob corn lines. *Agro-Industrial Complex of Russia*. 2018;25(2):234-243. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Матвеева Г.В. Создание и изучение многопочатковых линий кукурузы. *АПК России*. 2018;25(2):234-243).
- Khatefov E.B., Matveeva G.V., Appaev S.P., Shomakhov B.R., Kushkhova R.S. Kudaev R.A. et al. Breeding of maize with synchronous flowering of ears on the basis of distant hybrids with teosinte. *Kukuruza i sorgo = Maize and Sorghum*. 2020;(1):3-11. [in Russian] (Хатефов Э.Б., Матвеева Г.В., Аппаев С.П., Шомахов Б.Р., Кушхова Р.С. Кудаев Р.А. и др. Селекция многопочатковой кукурузы с синхронным цветением початков на основе отдаленных гибридов с теосинте. *Кукуруза и сорго*. 2020;(1):3-11). DOI: 10.25715/KS.2020.1.57954
- Kozubenko L.V., Gurieva I.A. Maize breeding for earliness (Selektsiya kukuruzy na skorospelost). Kharkiv; 2000. [in Russian] (Козубенко Л.В., Гурьева И.А. Селекция кукурузы на раннеспелость. Харьков; 2000).
- Kravchenko R.V. Agrobiological substantiation of obtaining stable maize grain harvests in the steppe zone of the Central Ciscaucasia (Agrobiologicheskoye obosnovaniye polucheniya stabilnykh urozhayev zerna kukuruzy v usloviyakh stepony zony Tsentralnogo Predkavkazya). Stavropol; 2010. [in Russian] Кравченко Р.В. Агробиологическое обоснование получения стабильных

- урожаев зерна кукурузы в условиях степной зоны Центрального Предкавказья. Ставрополь; 2010).
- Kukekov V.G. (comp.). Broad unified COMECON list of descriptors and international COMECON list of descriptors for sp. Zea mays L. Leningrad: VIR; 1977. [in Russian] (Широкий унифицированный классификатор СЭВ и международный классификатор СЭВ видов Zea mays L. / сост. В.Г. Кукеков. Ленинград: ВИР; 1977).
- Liu J., Fernie A.R., Yan J. The past, present, and future of maize improvement: domestication, genomics, and functional genomic routes toward crop enhancement. *Plant Communications*. 2020;1(1):100010. DOI: 10.1016/j. xplc.2019.100010
- Panfilova O.N., Chugunova E.V., Derunova S.N. Source material for the selection of corn for drought tolerance. *The Agrarian Scientific Journal.* 2020;(2):29-37. [in Russian] (Панфилова О.Н., Чугунова Е.В., Дерунова С.Н. Исходный материал для селекции кукурузы на засухоустойчивость. *Аграрный научный журнал.* 2020;(2):29-37). DOI: 10.28983/asj.y2020i2pp29-37
- Paritov A.Yu. Selection on many mealies as one of methods to increase the productivity of corn. *Izvestia of Samara Scientific Center of the Russian Academy of Sciences*. 2010;12(1-3):791-794. [in Russian] (Паритов А.Ю. Селекция на многопочатковость как один из методов повышения урожайности кукурузы. *Известия Самарского научного центра Российской академии наук*. 2010;12(1-3):791-794).
- Sangoi L. Understanding plant density effects on maize growth and development: an important issue to maximize grain yield. *Ciência Rural.* 2000;31(1):159-168. DOI: 10.1590/S0103-84782001000100027
- Shmaraev G.E. Maize (phylogeny, classification, breeding) (Kukuruza [filogeniya, klassifikatsiya, selektsiya]). Moscow; 1975. [in Russian] (Шмараев Г.Е. Кукуруза (филогения, классификация, селекция). Москва; 1975).
- Shmaraev G.E., Matveeva G.V. Guidelines for the study and maintenance of maize collection accessions (Metodicheskiye ukazaniya po izucheniyu i podderzhaniyu obraztsov kollektsii kukuruzy). Leningrad: VIR; 1985. [in Russian] (Шмараев Г.Е., Матвеева Г.В. Методические указания по изучению и поддержанию образцов коллекции кукурузы. Ленинград: ВИР; 1985).
- Silva P.S.L., Silva P.I.B., de Sousa A.K.F., Gurgel K.M., Pereira Filho I.A. Green ear yield and grain yield of maize after harvest of the first ear as baby corn. *Horticultura Brasileira*. 2006;24(2):151-155. DOI: 10.1590/S0102-05362006000200005
- Vavilov N.I. Selected works (Izbrannye Trudy). Moscow: Kolos; 1966. [in Russian] (Вавилов Н.И. Избранные труды. Москва: Колос; 1966).
- Yang C.J., Samayoa L.F., Bradbury P.J., Olukolu B.A., Xue W., York A.M, et al. The genetic architecture of teosinte catalyzed and constrained maize domestication». *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*. 2019;116(12):5643-5652. DOI: 10.1073/pnas.1820997116

Прозрачность финансовой деятельности / The transparency of financial activities

Авторы не имеют финансовой заинтересованности в представленных материалах или методах.

The authors declare the absence of any financial interest in the materials or methods presented.

Для цитирования / How to cite this article

Бойко В.Н. Хатефов Э.Б. Исходный материал для гибридной селекции кукурузы на многопочатковость из коллекции ВИР. Труды по прикладной ботанике, генетике и селекции. 2021; 182(4):27-35. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-27-35

Boyko V.N., Khatefov E.B. Source material from the VIR collection for hybrid breeding of multiple-ear maize. Proceedings on Applied Botany, Genetics and Breeding. 2021;182(4):27-35. DOI: 10.30901/2227-8834-2021-4-27-35

Авторы благодарят рецензентов за их вклад в экспертную оценку этой работы / The authors thank the reviewers for their contribution to the peer review of this work

Дополнительная информация / Additional information

Полные данные этой статьи доступны / Extended data is available for this paper at https://doi.org/10.30901/2227-8834-2021-4-27-35

Мнение журнала нейтрально к изложенным материалам, авторам и их месту работы / The journal's opinion is neutral to the presented materials, the authors, and their employer

Авторы одобрили рукопись / The authors approved the manuscript

Конфликт интересов отсутствует / No conflict of interest

ORCID

Khatefov E.B. https://orcid.org/0000-0001-5713-2328 Boyko V.N. https://orcid.org/0000-0001-7919-1302